

Trabajos de indagación de los alumnos: instrumentos de evaluación e identificación de dificultades¹

Concepció Ferrés Gurt, Anna Marbà Tallada y Neus Sanmartí Puig

Grup LIEC (Llenguatge i Ensenyament de les Ciències). Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimental. Universitat Autònoma de Barcelona. España. cferres@hotmail.com

[Recibido en junio de 2014, aceptado en noviembre de 2014]

El objetivo de esta investigación es identificar las capacidades y dificultades que muestran los bachilleres (18 años) en la competencia de indagación. Para analizar las características de la competencia de indagación se ha diseñado un instrumento de evaluación, el NPTAI, inspirado en las rubricas del *Practical Test Assessment Inventory* propuesto por Tamir, Nussinovitz y Friedler. Se ha aplicado al análisis de los trabajos de investigación autónoma realizados por un grupo de alumnos de bachillerato científico y ha permitido determinar en qué procesos muestran mayores dificultades. La recodificación de los resultados obtenidos con el NPTAI ha permitido establecer una escala ordinal de niveles de competencia de indagación de los bachilleres o NCI.

Palabras clave: Indagación; evaluación; trabajos de investigación; nivel de competencia.

Students' inquiry works: assessment tools and identification of difficulties

The aim of this research is to identify the capacities and difficulties shown by bachelors (aged 18) in the inquiry competence. In order to analyse the characteristics of inquiry competence, an assessment tool, NPTAI, has been designed on the basis of the *Practical Test Assessment Inventory* proposed by Tamir, Nussinovitz y Fridler. This tool has been used to analyse research works made by a group of high school science students and has enabled us to detect the aspects of scientific inquiry where students have the most difficulties. The recodification of results obtained with NPTAI has made it possible to establish an ordinal scale of bachelors' inquiry levels or NCI.

Keywords: Inquiry; assessment; research works; competence level.

¹ Una primera versión de este artículo fue presentada por la primera autora a los premios de APICE para investigadores/as noveles de 2014, obteniendo el primer premio del certamen. La investigación correspondiente fue dirigida por las otras dos autoras que firman el trabajo.

Introducción, justificación y objetivos

El bachillerato LOGSE (1997) y posteriormente el bachillerato LOE (2008) establecen que los estudiantes de este nivel educativo en Cataluña deben realizar un trabajo de investigación que también es preceptivo en otras comunidades autónomas. Este trabajo se plantea como una actividad para favorecer la capacidad de indagación, porque la normativa establece que debe consistir en un conjunto de actividades estructuradas y orientadas a la investigación y no tan solo en actividades de consulta bibliográfica (Decret de Batxillerat LOE, 2008). La utilización de la indagación en las actividades escolares puede constituir un elemento de innovación y progreso hacia modelos de didáctica de las ciencias no centrados exclusivamente en la transmisión de conocimientos y que persiguen los objetivos del enfoque competencial de la enseñanza. Pero los bachilleres suelen mostrar dificultades en la realización de estos trabajos, dado que, como afirma Cañal (2007, p.17) “Es innegable que la implementación real de este enfoque en las aulas es muy inferior al de su impacto teórico y curricular...” y también por el hecho de que en las actividades prácticas pocas veces se plantean a los alumnos auténticas actividades de indagación (Tamir y García, 1992).

Las dificultades en los trabajos de indagación aumentan al incrementar el grado de autonomía de los alumnos y al proponer, como en el trabajo de investigación de bachillerato, la realización de investigaciones en las que ellos deben tomar decisiones relacionadas con el

diseño y la planificación del trabajo a realizar y llevarlas a cabo (Grau, 1994). Estudios como los de Oliveras, Márquez y Sanmartí (2012) y Furman, Barreto y Sanmartí (2013) muestran que el estudiante tiene dificultades en la formulación de una pregunta científica investigable, mientras que D'Costa y Schlueter (2013) apuntan a problemas relacionados con algunos procedimientos como la identificación de variables y el diseño de experimentos.

La evaluación de estos trabajos de investigación plantea un reto al profesorado por las dificultades que puede suponer realizarla de manera fiable. Hace años, Tamir, Nussinovitz y Friedler (1982) propusieron el PTAI o *Practical Test Assessment Inventory* con la finalidad de valorar la capacidad de los alumnos a la hora de comprender y aplicar actividades prácticas y también para normalizar y aumentar la fiabilidad de los resultados de la evaluación. En esta investigación diseñamos un instrumento de evaluación de los trabajos de investigación, que denominamos “nuevo PTAI” (NPTAI de ahora en adelante), y presentamos los resultados obtenidos en su aplicación a la evaluación de los trabajos de investigación de un grupo de bachilleres. También planteamos la utilización de un segundo instrumento de evaluación, el NCI (Niveles de Competencia Indagadora), aplicable al análisis de resultados obtenidos con el NPTAI, que posibilita determinar niveles de competencia de indagación de los alumnos.

Fundamentación: la indagación en las aulas

Capacidad de indagación y competencia científica

En la última década del siglo XX el informe Delors (1996) inspiró las propuestas de la OCDE que aconsejan un nuevo enfoque del aprendizaje centrado en las competencias. Se define *competencia* como la capacidad para poner en práctica de manera integrada, en contextos y situaciones diversas, los conocimientos, las destrezas y las actitudes desarrollados en el aprendizaje. El programa DeSeCo (OCDE, 2002) define y selecciona las competencias básicas, siendo una de ellas la competencia científica. Según Cañal (2012), la competencia científica tiene cuatro dimensiones: conceptual (capacidad de utilizar el conocimiento científico para describir, explicar y predecir fenómenos naturales), metodológica (capacidad para diferenciar la ciencia del conocimiento cotidiano, para identificar problemas científicos y diseñar estrategias para su investigación, para obtener información relevante para la investigación, para procesar la información obtenida y para formular conclusiones argumentadas), actitudinal (capacidad para valorar la cualidad de la información, para interesarse por el conocimiento y la resolución de problemas científicos y para adoptar decisiones autónomas y críticas basadas en criterios científicos) e integrada (capacidad para utilizar las anteriores capacidades para dar respuestas o pautas de actuación adecuadas frente a los problemas concretos científicos, tecnológicos o socio-ambientales). De acuerdo con esta descripción, la capacidad de indagación corresponde a la dimensión metodológica de la competencia científica.

¿Qué se entiende por indagación en didáctica de las ciencias?

La indagación es en la actualidad uno de los temas más debatidos en la didáctica de las ciencias, pero a menudo el término origina confusión. Como explican Olson y Loucks-Horsley (2000) y Abd El-Khalick *et al.* (2004), el término *indagación* es utilizado en dos sentidos diferentes. Por un lado se refiere a habilidades que los estudiantes deben desarrollar para ser capaces de realizar investigaciones científicas y trabajar de la forma que lo hacen los científicos en la resolución de problemas. Por otro lado hace referencia a las estrategias de enseñanza y aprendizaje que permiten aprender ciencia a partir de la realización de investigaciones que aporten evidencias experimentales con la finalidad de promover la génesis y evolución del conocimiento científico escolar.

En otras palabras, la indagación puede plantearse como objeto de aprendizaje (aprender a hacer ciencia y aprender sobre ciencia) o como modelo didáctico (aprender ciencia por medio de la indagación). En nuestro trabajo nos referimos a la indagación como objeto de enseñanza de las ciencias. Para aprender ciencia y comprenderla no basta con conocer sus leyes, conceptos y modelos, sino que es igualmente importante conocer sus métodos y reconocer que la ciencia no es un conjunto de conocimientos estático sino que se cuestiona constantemente los modelos teóricos que genera en un proceso dinámico de permanente investigación.

Hace ya un siglo, John Dewey recomendaba la inclusión de la indagación en el currículum de ciencias argumentando que se ponía demasiado énfasis en la acumulación de información sobre los hechos y no tanto en el pensamiento científico. Seguramente, en la mayoría de aulas de nuestro país esta reflexión sería aún hoy vigente, ya que en nuestro entorno educativo la metodología que aplicamos los profesores está bastante alejada de una enseñanza de las ciencias basada en la indagación y todavía una parte fundamental del currículum se centra en transmitir ideas de la ciencia, sin incorporar ideas sobre la ciencia, relativas a cómo se ha obtenido este conocimiento (Caamaño, 2012b). Las actividades prácticas, especialmente en el bachillerato, son un hecho excepcional o, como mínimo, poco habitual. Además, como ya constataron hace tiempo Tamir y García (1992), pocas veces se proponen a los alumnos verdaderas actividades de investigación.

Pero ¿qué es un trabajo práctico investigativo o una actividad de indagación? Según Caamaño (2012a, p.84) “Los trabajos prácticos investigativos son actividades diseñadas para dar a los estudiantes la oportunidad de trabajar de un modo que tiene similitudes con el utilizado por los científicos en la resolución de problemas, de familiarizarse con el trabajo científico y de adquirir una comprensión procedimental de la ciencia, al utilizar las destrezas y los procedimientos propios de la indagación científica en un marco escolar”. Para que una actividad sea considerada de indagación, esta debe cumplir dos condiciones (Bell, Maeng y Peters, 2010): que incluya una pregunta investigable y que implique que los estudiantes analicen datos para responderla. Además, explicitan que no todas las actividades de indagación son equivalentes y distinguen entre cuatro niveles según su apertura: en el nivel más alto, denominado de indagación abierta, es el estudiante quien dirige todo el proceso, desde el planteamiento de preguntas y la elección de métodos para darles respuesta, hasta la recolección de datos y su posterior análisis. En la misma línea, la rúbrica de indagación de los trabajos prácticos, propuesta por Fay, Grove, Towns y Bretz (2007), parte de la de Herron (1971) y muestra una clasificación similar.

Una de las pocas ocasiones en las que se promueve que los estudiantes aborden actividades del máximo nivel de indagación es en los trabajos de final de ciclo, como es el caso del trabajo de investigación que deben hacer todos los alumnos de bachillerato en Cataluña. Pero esta demanda no suele ir acompañada en las aulas por el hecho de que a lo largo de la escolaridad y en las distintas asignaturas del currículum se proponga la realización de trabajos de indagación de menor nivel para aprender poco a poco sobre cómo la ciencia genera nuevos conocimientos.

Dificultades en los trabajos de indagación

La descripción de las características de los trabajos de indagación autónoma (Bell et al., 2010; Fay et al., 2007) y la evidencia de la problemática que puede suponer su realización para los alumnos por la falta de un proceso de aprendizaje previo apropiado, ponen de manifiesto la complejidad que supone para los bachilleres la realización del trabajo de investigación. Estas dificultades empiezan desde los primeros pasos, con la identificación de preguntas

investigables y la formulación de hipótesis. Como analizan Oliveras, Márquez y Sanmartí (2013), los estudiantes tienen más dificultades en la formulación de una pregunta científica que en el diseño de un experimento para responderla.

En cuanto a la formulación de hipótesis, a menudo se proponen simples predicciones que no tienen el formato de una deducción y, en consecuencia, no orientan para que se pueda seleccionar la metodología más idónea para dar respuesta al problema que se investiga, ni en la identificación de variables a tener en cuenta (Friedler y Tamir, 1990).

Paralelamente, las predicciones e hipótesis, cuando se formulan, suelen plantearse desde el conocimiento cotidiano y no como una forma para poner a prueba el conocimiento científico construido hasta el momento. Para responder a esta problemática, Windschitl et al. (2008) proponen enseñar al alumnado a formularlas con referencia a modelos o conceptos científicos y así evitar que la indagación escolar se reduzca a una aplicación simplista del denominado método científico. En consecuencia, plantean describirlas con el formato: “Si pensamos que (referencia al modelo o concepto científico), entonces cuando (condiciones de las observaciones o pruebas que indican la variable independiente) observaremos que (resultados que evidencian la variable dependiente)”.

También aparecen dificultades relacionadas con procedimientos como la identificación de variables y el diseño de experimentos (D’Costa y Schlueter, 2013) y, en concreto, de los métodos para obtener datos válidos con relación a algunas variables. Grunwald y Hartman (2010) se refieren a las dificultades detectadas en la falta de comprensión del impacto de las variables experimentales en los resultados de un experimento. Posiblemente, si la formulación de hipótesis siguiera las pautas sugeridas por Friedler y Tamir (1990) y más recientemente por Windschitl et al. (2008), las dificultades serían menores.

Otros de los procesos básicos a aplicar en toda investigación como son el tratamiento matemático y gráfico de los datos recogidos y, muy especialmente, el análisis de estos datos y la génesis de conclusiones argumentadas, también son complejos y entrañan muchas dificultades para el alumnado. Implican la asunción de que una característica fundamental del pensamiento científico es que sus afirmaciones se basan tanto en pruebas que se deducen de los datos y que deben ser idóneas para argumentar, como en ideas o conceptos que son la base de los modelos teóricos que la ciencia va generando (Sanmartí y Oliveras, 2011).

Desde esta perspectiva, los objetivos de esta investigación son:

- Diseñar instrumentos de evaluación de los trabajos de indagación autónoma de los bachilleres para identificar tanto sus dificultades como aquello que ya hacen adecuadamente.
- Identificar el nivel de competencia indagadora que muestran los alumnos al finalizar el bachillerato.

Metodología

Diseño del NPTAI

Tamir et al. (1982) propusieron el *Practical Test Assessment Inventory (PTAI)* con la finalidad de valorar la capacidad de los alumnos para comprender y aplicar actividades prácticas. Consta de veintiuna categorías, con sus respectivas rúbricas, y aborda aspectos de comprensión de los procesos de indagación, como la identificación de problemas investigables y la capacidad de formular hipótesis, de identificar las variables de un diseño experimental, de analizar datos y de extraer conclusiones. También incluye categorías relacionadas con aspectos más procedimentales y habilidades muy específicas (preparación de disoluciones o uso del

microscopio). Este instrumento es en el que se ha inspirado el diseño que proponemos para evaluar trabajos de indagación autónoma de los bachilleres y por ello el nombre que les hemos dado, NPTAI, reconoce esta fuente. En la tabla 1 se comparan las categorías definidas en los dos instrumentos.

El NPTAI se ha diseñado con el objetivo de valorar las habilidades específicas relacionadas con la comprensión de los pasos de un proceso de indagación y se han reducido las veintiuna categorías del PTAI a siete. Esta reducción del número de categorías es la diferencia básica entre el PTAI y el NPTAI, así como la finalidad para la que se diseña el instrumento, que se circunscribe a evaluar los procesos generales de una indagación científica abierta y autónoma.

Además, se han reformulado las rúbricas o baremos de cada categoría (ver tabla 2, con el NPTAI completo) a partir de los referentes bibliográficos y también de las dificultades detectadas en los trabajos de investigación de los bachilleres y la progresión esperada al mejorar su nivel de competencia indagadora. Así, por ejemplo, tomando el caso de la categoría que hace referencia a la “formulación de hipótesis”, se puede observar que, de acuerdo con Friedler y Tamir (1990), se valora que la hipótesis se describa en forma de deducción, con un enunciado en dos partes: la primera describe las acciones que se emprenden (VI) para verificar la hipótesis y la segunda describe los resultados posibles (VD) de estas acciones. Pero también consideramos importante, de acuerdo con las corrientes actuales que estudian la indagación basada en modelos o MBI (Windschitl *et al.* 2008), que su formulación tenga en cuenta que las hipótesis tienen sentido en el contexto de una comprensión amplia del fenómeno, que no son arbitrarias y que se plantean en referencia a un modelo teórico. Con esta descripción de las hipótesis se conduce al alumnado hacia un diseño experimental que permite comprobar el problema formulado y darle respuesta. En la tabla 2 se puede comparar la rúbrica de la categoría “formulación de hipótesis” en el NPTAI y en el PTAI (esta última se muestra sobre fondo sombreado).

La lectura de los códigos propuestos en cada una de las rúbricas pone en evidencia que constituye una secuencia de gradación ascendente, desde la incapacidad hasta la capacidad más refinada. Por ello decimos que se trata de códigos jerarquizados, lo que permite otorgar una calificación numérica, de 0 a 4, de manera que la evaluación de datos cualitativos nos da una valoración cuantitativa.

La aplicación del NPTAI permite determinar que un trabajo de indagación de máxima excelencia consigue una calificación de 24, valor que resulta de la suma de puntuaciones de las jerarquías de nivel superior de las siete categorías. Observamos, pues, como ya se ha dicho, que permite cuantificar datos cualitativos, como son los recogidos en una memoria de la realización del trabajo de investigación.

Tabla 1. Comparación de las categorías del PTAI con las del NPTAI.

PTAI: Categorías	NPTAI: Categorías
<i>Diseñado para la evaluación de pruebas de laboratorio destinadas a determinar la habilidad de investigación de los estudiantes en exámenes de acceso a la universidad</i>	<i>Diseñado con la finalidad de evaluar los trabajos de indagación autónoma realizados por los bachilleres</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Formulación de problemas 2. Formulación de hipótesis 3. Identificación de la variable dependiente 4. Identificación de la variable independiente 5. Planificación del grupo control 6. Adecuación de la experiencia al problema formulado 7. Planificación completa de la experimentación 8. Comprensión de la función del control en la experiencia 9. Informe de los resultados 10. Preparación de disoluciones 11. Realización de observaciones con el microscopio 12. Descripción de observaciones <p><i>No se han considerado estas categorías 10, 11, 12 y 15, porque los trabajos de indagación son muy diversos y no tienen por qué incluirlas</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 13. Construcción de gráficos 14. Confección de tablas 15. Interpretación de los datos de una observación 16. Extracción de conclusiones 17. Explicación de los resultados de una investigación 18. Análisis crítico de los resultados 19. Aplicación de conocimientos <p><i>No se ha considerado esta categoría en el NPTAI. En un posterior refinamiento del instrumento nos planteamos incorporar una categoría específica para evaluar la referencia a conceptos y modelos científicos</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 20. Comprensión e interpretación de datos de un gráfico 21. Propuesta de ideas para continuar la investigación <p><i>Los trabajos de investigación de los bachilleres no siempre incluyen este aspecto y por ello el NPTAI no incluye esta categoría</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS o FORMULACIÓN DE PREGUNTAS 2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS <p><i>Las categorías 1 y 2 coinciden</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 3. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES <p><i>Las categorías 3 y 4 se han unificado en una sola categoría</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 4. PLANIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN <p><i>Las categorías 5, 6, 7 y 8 del PTAI se han unificado en la categoría 4 del NPTAI, formando parte de la planificación de la investigación, para evaluar de manera global la planificación de la investigación</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 5. RECOGIDA Y PROCESAMIENTO DE DATOS <p><i>La categoría 9 del PTAI implica el trabajo previo de obtención de datos y su procesamiento posterior. Consideramos más adecuado concretar si se han obtenido datos y se han procesado adecuadamente.</i></p> <p><i>Se ha considerado más indicada una formulación más genérica, en lugar de la distinción de las categorías 13 y 14 del PTAI.</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 6. ANÁLISIS DE DATOS Y OBTENCIÓN DE CONCLUSIONES ARGUMENTADAS <p><i>Los trabajos de indagación no siempre separan los procesos de explicación de resultados, comprensión e interpretación de los datos de un gráfico, análisis crítico de los resultados y extracción de conclusiones que especifican las categorías 16, 17, 18 y 20 del PTAI.</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 7. METARREFLEXIÓN <p><i>Esta categoría, incorporada al NPTAI, tiene utilidad si, al finalizar su trabajo de indagación autónoma, se propone a los estudiantes que expongan cómo explicarían las características de un proceso de indagación científica, con el objetivo de evaluar su comprensión de los métodos de la ciencia.</i></p>

Tabla 2. NPTAI, instrumento de evaluación de trabajos de indagación y sus rúbricas. Se compara la rúbrica “HIPÓTESIS” del NPTAI y del PTAI (sombreada).

0	No identifica problemas o no plantea problemas o plantea problemas inabordables	IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS INVESTIGABLES
1	Plantea problemas con formulación ambigua o genérica o mal formulados	
2	Identifica problemas de investigación adecuados y concreta interrogantes	
0	No plantea hipótesis o no identifica hipótesis o plantea hipótesis sin sentido	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS
1	Plantea hipótesis sin relación con el problema o los objetivos	
2	Formula hipótesis ambiguas o con errores de lógica o mal formuladas o solo emite predicciones	
3	Plantea hipótesis en forma de deducción y que encajan con los problemas de investigación	
4	Plantea hipótesis que encajan con el problema de investigación y las describe en forma de deducción y con referencia al modelo: “Si pensamos que... entonces si... observaremos que...”	
1 Hipótesis no formulada 2 Suposición en lugar de hipótesis 3 Problema en lugar de hipótesis 4 La hipótesis no encaja con el problema o con la situación 5 La formulación contiene errores objetivos o de lógica 6 Formulación retorcida o ambigua 7 La hipótesis encaja con el problema y es formulada así: si... entonces...		PTAI: FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS
0	El diseño debería contemplar variables y no las tiene en cuenta	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES
1	No identifica ni VI ni VD o no las sabe concretar a pesar de haberlas considerado en el diseño	
2	Confunde VI y VD o propone VI y VD que no encajan con las hipótesis formuladas	
3	Identifica VI y VD pero de manera inconcreta o imprecisa	
4	Identifica y define VI y VD apropiadas, que encajan con las hipótesis	
0	No hay o no propone diseño experimental o metodológico o lo hay pero no lo identifica	PLANIFICACIÓN DE INVESTIGACIÓN
1	El diseño metodológico no permite comprobar las hipótesis	
2	El diseño metodológico solo permite una comprobación parcial de las hipótesis	
3	El diseño metodológico ofrece una adecuada comprobación de las hipótesis, pero no propone réplicas ni explícita controles o el control es incompleto o descripción incompleta del diseño	
4	El diseño metodológico ofrece una adecuada comprobación de las hipótesis, con réplicas y control	
0	No ha recogido datos de investigación: ni los ha generado en experimentos u observaciones ni los ha obtenido de fuentes de datos	RECOGIDA Y PROCESAMIENTO DE DATOS
1	Recogida de datos incompleta, con falta de precisión, o con déficits en la aplicación de técnicas y medidas, tratamiento inadecuado o incompleto de los datos, gráficos sin títulos o con títulos inadecuados y cálculos con incorrecciones	
2	Recogida de datos con errores o imprecisiones o que muestra falta de comprensión de los procedimientos y/o con evidencia de falta de relación entre los datos y las hipótesis testadas, pero con tratamiento adecuado de los datos y la representación gráfica	
3	Recogida de datos metódica, con buena comprensión y ejecución de las técnicas y medidas, que aportan datos relacionados con las hipótesis, con buen tratamiento matemático y gráfico, pero sin réplicas y con control insuficiente	
4	Recogida de datos metódica, adecuada y suficiente con buena comprensión y ejecución de las técnicas y medidas, buen tratamiento matemático y gráfico de los datos, y con réplicas y controles	
0	Sin análisis de datos	ANÁLISIS DE DATOS Y OBTENCIÓN DE CONCLUSIONES
1	Análisis deficiente y conclusiones no fundamentadas en datos	
2	Conclusiones muy similares a los resultados, sin interpretación ni análisis de datos. No coordina justificaciones teóricas con pruebas empíricas	
3	Análisis incompleto o poco fundamentado en los datos o basado en datos poco fiables, “simplista”...	
4	Análisis de datos bien fundamentado y conclusiones basadas en pruebas. Coordina justificaciones teóricas con pruebas empíricas	
0	No sabe describir las características de los procesos de indagación científica	METARREFLEXIÓN
1	Descripción incompleta de características de un proceso de indagación o con confusión de conceptos, ideas puramente inductivistas y poca o nula referencia a conceptos científicos	
2	Buena descripción de los procesos de indagación, con referencia a conceptos científicos tanto para formular hipótesis como en el análisis de datos y la argumentación de conclusiones, que no surgen simplemente de procesos de inducción	

Diseño de los NCI, un proceso de recodificación de resultados

Este diseño del NPTAI permite, una vez obtenido el resultado de su aplicación en la evaluación de trabajos indagativos de los alumnos, aplicar un proceso de recodificación de resultados, dando pie a los Niveles de Competencia de Indagación o NCI. Este proceso permite clasificar a los alumnos en función de su competencia de indagación en una escala ordinal de cinco intervalos de resultados del NPTAI. Los NCI se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Instrumento NCI y descripción de los cinco niveles de competencia.

DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE COMPETENCIA DE INDAGACIÓN o NCI	
(valor NPTAI)	Competencias de indagación mostradas por el alumnado de este nivel (en su aplicación se han evaluado 5 categorías de las 7 del NPTAI)
INDAGADOR (14-16)	<ul style="list-style-type: none"> Identifica problemas de investigación, plantea problemas adecuados y concreta interrogantes Plantea hipótesis en forma de deducción y que encajan con el problema de investigación y lo hace con referencia a un modelo o concepto científico Planifica un diseño experimental o una obtención de datos que ofrece una adecuada comprobación de las hipótesis, con réplicas y controles, y hace una buena descripción del proceso metodológico Identifica VI y VD, algunas veces de manera incompleta o imprecisa Recogida de datos metódica, adecuada y suficiente, buen tratamiento de datos y réplicas y controles Análisis de datos bien fundamentado y conclusiones basadas en pruebas. Coordina justificaciones teóricas con pruebas empíricas Reflexión: hace una buena descripción de los procesos de indagación científica
INDAGADOR INSEGURO (11-13)	<ul style="list-style-type: none"> Identifica problemas de investigación, plantea problemas adecuados y concreta interrogantes, algunas veces con formulación ambigua Plantea hipótesis en forma de deducción y que encajan con los problemas de investigación Planifica un diseño experimental o una obtención de datos que ofrece una adecuada comprobación de las hipótesis, casi siempre con réplicas y controles y/o con una descripción incompleta del diseño metodológico No identifica las variables, no sabe concretar VI y VD o confunde VI y VD o propone VI y VD que no encajan con la hipótesis o identifica VI y VD de manera imprecisa Recogida de datos metódica, buen tratamiento matemático y gráfico pero no siempre con réplicas y controles suficientes Análisis de datos incompleto o poco fundamentado en algunos aspectos Reflexión: hace una descripción incompleta de los pasos de los procesos de indagación científica y/o con confusión de conceptos o ideas puramente inductivistas
INDAGADOR INCIPIENTE (8-10)	<ul style="list-style-type: none"> Déficits en dos o tres categorías de "Identificación de problemas investigables", "Formulación de hipótesis", "Identificación de variables" Planifica un diseño metodológico que ofrece una adecuada comprobación de las hipótesis, pero con déficits en réplicas y controles y con una descripción incompleta del proceso metodológico Recogida de datos con errores o imprecisiones y/o con evidencia de falta de relación entre los datos y las hipótesis, pero con tratamiento adecuado de los datos y su representación gráfica Conclusiones muy similares a los resultados, sin interpretación ni análisis de datos. No coordina justificaciones teóricas con pruebas empíricas Reflexión: hace una descripción incompleta de los procesos de indagación científica y/o con confusión de conceptos o con ideas puramente inductivistas

Tabla 3. Instrumento NCI y descripción de los cinco niveles de competencia (Continuación).

DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE COMPETENCIA DE INDAGACIÓN o NCI	
(valor NPTAI)	Competencias de indagación mostradas por el alumnado de este nivel (en su aplicación se han evaluado 5 categorías de las 7 del NPTAI)
PRECIENTÍFICO (6-7)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Plantea problemas con formulación ambigua o genérica o mal formulados o no identifica problemas</i> • <i>Formula hipótesis ambiguas, con errores de lógica, mal formuladas, o confunde hipótesis y problema</i> • <i>Planifica un diseño metodológico que solo permite una comprobación parcial de las hipótesis, sin réplicas ni controles</i> • <i>No identifica variables</i> • <i>Recogida de datos incompleta, con falta de precisión o con déficits en la aplicación de técnicas, tratamiento inadecuado o incompleto de los datos, gráficos sin títulos o con títulos inadecuados y cálculos con incorrecciones</i> • <i>Análisis deficiente y conclusiones no fundamentadas en datos</i> • <i>Reflexión: no sabe describir las características de los procesos de indagación científica o hace una descripción incompleta y/o con confusión de conceptos o ideas puramente inductivistas</i>
ACIENTÍFICO (0-5)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>No identifica problemas o plantea problemas inabordables o los plantea con formulación ambigua</i> • <i>No plantea hipótesis o no identifica hipótesis o plantea hipótesis sin sentido o sin relación con el problema</i> • <i>No propone diseño metodológico o hay diseño pero no lo identifica o el diseño solo permite una comprobación parcial de las hipótesis</i> • <i>El procedimiento no contempla variables o no las identifica o no las sabe concretar</i> • <i>No ha recogido datos o la recogida de datos es muy incompleta y su tratamiento inadecuado</i> • <i>Sin análisis de datos o con un análisis de datos deficiente y conclusiones no fundamentadas</i> • <i>No sabe describir las características de los procesos de indagación: errores, tautologías</i>

Para establecer los NCI se determinan intervalos de valoraciones cuantitativas a partir del análisis de las capacidades y dificultades. Este análisis se ha llevado a cabo mediante la observación de los códigos de cada rúbrica otorgados a los trabajos evaluados con el NPTAI y se han buscado patrones característicos de capacidades y dificultades que configuran los cinco niveles de competencia. El nivel superior de NCI corresponde a alumnado que tiene un buen dominio de los procesos de indagación.

Así, por ejemplo, en una investigación que plantea el problema “¿Podemos diseñar una batería sencilla de pruebas diagnósticas para identificar a las personas afectadas de distrofia facio-escápulo-humeral?”, el alumno formula la hipótesis en forma de deducción y con referencia al modelo teórico:

En este tipo de distrofia hereditaria se ve afectada inicialmente la musculatura de los párpados y de la cintura escapular, y, por lo tanto, las personas afectadas mostrarán dificultades en la realización de movimientos que impliquen la utilización de estos músculos. Entonces, si proponemos a un sujeto actividades de la vida diaria que precisen de su actividad, observaremos diferencias significativas entre los afectados y los no afectados por la distrofia.

Una vez diseñada la batería de pruebas, realiza una sola vez el test a un grupo de personas afectadas y a un grupo de estudiantes; de esta manera obtiene datos que procesa correctamente y analiza para obtener conclusiones fundamentadas en dichos datos. La descripción del proceso muestra que el estudiante ha identificado un problema investigable, ha formulado una hipótesis que encaja con el problema y ha planificado un diseño experimental que ofrece una adecuada comprobación de la hipótesis, pero que no incluye ni réplicas ni

controles. Posteriormente, cuando se le propone que explique el proceso de indagación que ha realizado y que concrete las variables, comenta que no tiene diseño experimental y que no puede referirse a las variables, y describe los procesos de indagación como simples procesos de inducción. Este ejemplo corresponde, pues, a un estudiante que muestra un NCI de “indagador inseguro”, ya que no es capaz de describir un proceso de investigación y, de manera significativa, no sabe identificar las variables, cuando tiene una VI evidente (afectados por distrofia y no afectados) y la VD no menos clara (resultado del test realizado a cada individuo). Si aplicamos el NPTAI a la evaluación de las cinco categorías descritas, obtendremos una calificación numérica de 11, en el intervalo 11-13 que corresponde a este NCI.

Contexto, características de la investigación y metodología

La investigación didáctica que presentamos se ha realizado aplicando los instrumentos NPTAI y NCI diseñados a la evaluación de los trabajos de indagación de veintitrés estudiantes de nivel sociocultural medio-alto que cursan 2º de bachillerato (18 años) de modalidad científica en un instituto situado en una comarca de Girona durante el curso 2012-2013. Se adjunta un anexo con las temáticas de los trabajos evaluados.

Se recogió información en relación con las habilidades de los bachilleres para realizar un proceso de indagación abierto. Se pasó un cuestionario a cada estudiante para que resumiera las características básicas de su trabajo: pregunta investigable, hipótesis formuladas, diseño experimental, variables manejadas, muestra de resultados relevantes, análisis de estos resultados y ejemplo de conclusión argumentada. Se consultaron sus memorias y se asistió a las presentaciones orales que hicieron ante un tribunal evaluador, con la finalidad de triangular los datos, completarlos y contrastarlos, especialmente en aquellos aspectos que no se explicitaban bien en las respuestas al cuestionario. También se planteó un cuestionario abierto en el que se pedía que explicaran en qué consistía, desde su punto de vista, un proceso de indagación científica, con la finalidad de recoger sus reflexiones de tipo metacognitivo.

Posteriormente se aplicó el NPTAI a las respuestas de los alumnos para evaluar cinco de las siete categorías definidas: identificación de preguntas investigables, formulación de hipótesis, planificación o diseño experimental, identificación de variables y metarreflexión sobre la indagación. De las dos categorías restantes (recogida y procesamiento de datos, y análisis de datos y obtención de conclusiones argumentadas) no se pudieron recoger datos apropiados a partir del primer cuestionario en el que el alumnado debía resumir su trabajo. Posteriormente se recodificaron los resultados para establecer los niveles de competencia de indagación o NCI.

La evaluación fue realizada independientemente por dos profesoras, que mostraron una coincidencia de casi el 100%. Las escasas discrepancias se abordaron conjuntamente para consensuar criterios y resultados del análisis.

Resultados y su interpretación

Los resultados de la evaluación con el NPTAI se presentan en la figura 1. La tabla 4 muestra la distribución de los alumnos en los niveles de competencia establecidos.

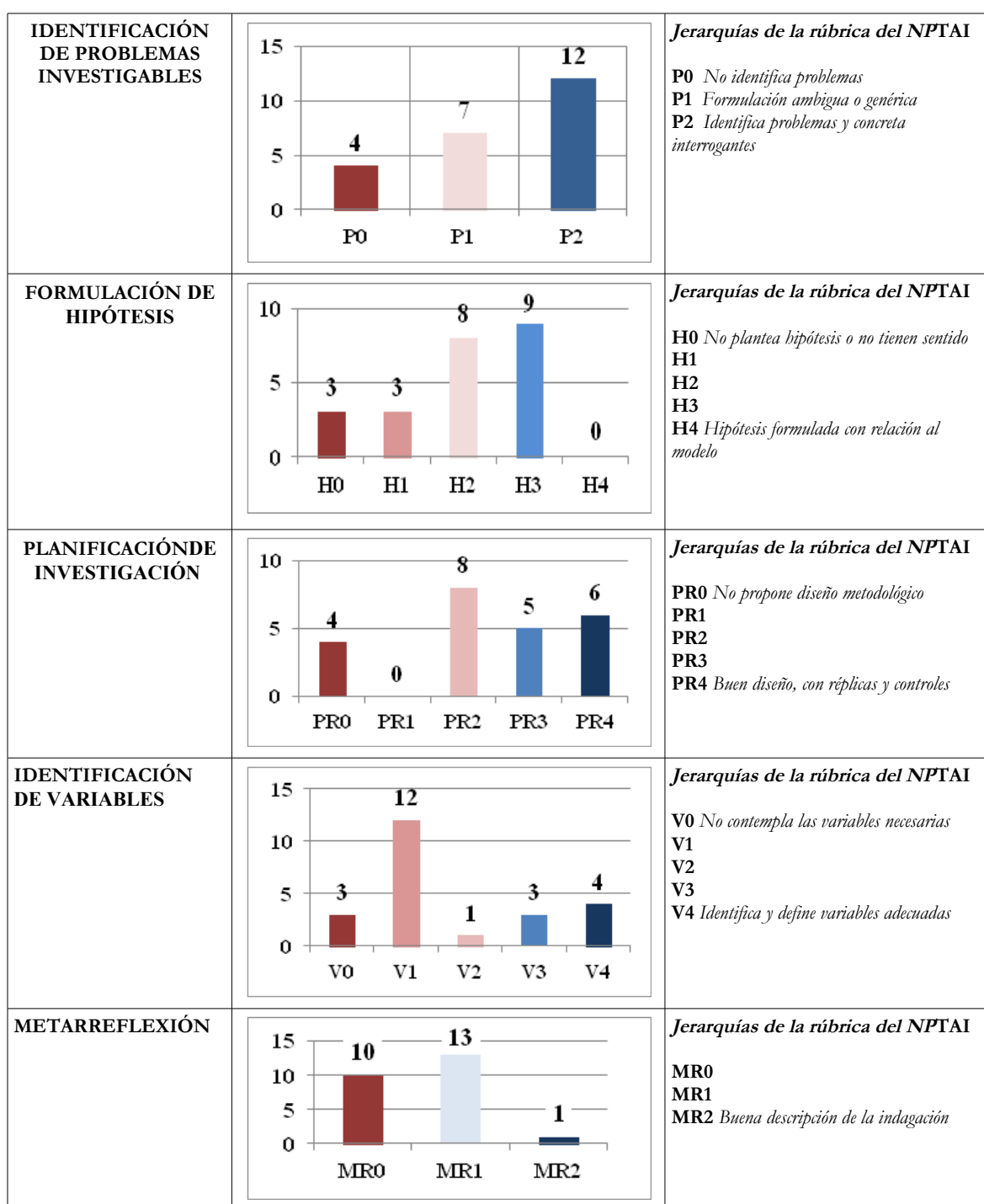


Figura 1. Resultados de la aplicación del instrumento de evaluación NPTAI.

Tabla 4. Análisis de resultados aplicando el instrumento NCI.

NIVELES DE COMPETENCIA DE INDAGACIÓN: NCI	Nº	%
INDAGADOR	3	13
INDAGADOR INSEGURO	4	17
INDAGADOR INCIPIENTE	6	26
PRECIENTÍFICO	5	22
ACIENTÍFICO	5	22

Estos resultados permiten identificar en qué aspectos presentan mayores dificultades los estudiantes en sus procesos de indagación. Aparecen desde los primeros pasos, en el planteamiento de un problema de investigación, y se incrementan en la formulación de hipótesis y aún más en los sucesivos procesos que atañen a la planificación de la investigación con la necesaria identificación de variables. Algunos de los alumnos que han planteado problemas investigables formulan hipótesis ambiguas o mal formuladas. Considerando ambos procesos, es decir, planteamiento de problemas y formulación de hipótesis, solamente uno de cada tres alumnos (39%) plantea problemas adecuados y formula hipótesis en forma de deducción y que encajan con dichos problemas. La incapacidad para formular la hipótesis en forma de deducción en más de la mitad de los bachilleres puede estar en el origen de las dificultades para enfocar la metodología de indagación.

Se reduce a uno de cada cuatro la proporción de alumnos que proponen un diseño metodológico que ofrece una adecuada comprobación de las hipótesis y que considera réplicas y controles. Es en la categoría de identificación de variables donde se detectan las mayores dificultades (D'Costa, y Schlueter, 2013), puesto que son tan solo siete de los veintitrés alumnos los que identifican las variables de sus diseños experimentales y es habitual la confusión de VI con VD o de variables controladas con VI.

En el proceso de reflexión sobre qué es un proceso de indagación, la mayoría de alumnos no son capaces de describirlo o lo describen de manera incompleta o con confusión de conceptos y solo un alumno muestra un nivel metacognitivo alto. Estos resultados están en consonancia con las aportaciones de Lederman (Abd El-Khalick et al., 2004), que afirma que la realización de una auténtica indagación por parte de los estudiantes no implica que comprendan qué es indagar.

Los niveles de competencia de indagación muestran un predominio de alumnos situados en los inferiores. El hecho de que tan solo uno de cada tres bachilleres (30%) tenga un nivel de indagador, aunque sea con inseguridades (17%), evidencia las dificultades de realización de una indagación abierta y podemos suponer que una de las causas es que anteriormente no han realizado actividades de aprendizaje de los distintos procesos y con niveles menores de apertura. Como afirman Bell et al. (2010), sin este proceso de acompañamiento previo por los niveles inferiores de indagación, los estudiantes tendrán dificultades para realizar estos trabajos de investigación abierta y con autonomía.

Conclusiones y consideraciones

Los resultados obtenidos, a pesar de referirse a una muestra reducida de alumnos, permiten afirmar que el nivel de adquisición de la capacidad de comprender los elementos fundamentales de la investigación y el “método científico”, y de la competencia en investigación, establecidos por el currículo, es insuficiente. Las dificultades detectadas se incrementan a medida que avanza el proceso de realización de la indagación en los aspectos analizados.

Valoramos que estas dificultades podrían reducirse si se propusiera una formulación más elaborada de las hipótesis (Friedler y Tamir, 1990; Windschitl *et al.*, 2008) y se ayudara a los estudiantes a comprender por qué este tipo de formulación puede ser útil al realizar una investigación. Pensamos que sin un buen planteamiento de los primeros pasos del proceso, no es posible que el alumno pueda centrarse gradualmente, y lógicamente, en la metodología que puede dar respuesta al problema que se investiga.

A partir de los resultados obtenidos, convenimos que sería necesario programar actividades para promover esta reflexión didáctica por parte del profesorado de ciencias y para orientar los

trabajos de indagación en la línea de las propuestas de Menoyo (2013), que propone iniciar desde el primer curso de la ESO el desarrollo de esta competencia, o aplicando la propuesta de Fernández-López (2011), que sugiere una programación por trimestres para promocionar la indagación. Define una progresión desde un entrenamiento inicial de identificación de variables y tratamiento de datos, para luego proponer al alumnado que diseñe proyectos de indagación a partir de preguntas planteadas por el profesor y, posteriormente, pedir a los estudiantes que propongan preguntas investigables, formulen hipótesis y redacten su propio proyecto. También Schwab (1966) planteaba planificar actividades en tres niveles sucesivos de autonomía. Sugería empezar dando información a los estudiantes sobre procesos de indagación para que ellos analizaran qué pregunta se planteaban los investigadores, qué hipótesis proponían, cuáles eran las variables implicadas, etc. En un segundo paso, habría que analizar procesos para encontrar errores y proponer cambios. A continuación se plantearían problemas, pero abiertos, para que los estudiantes propusieran métodos. De esta manera sería posible plantear a los alumnos trabajos que les dieran la oportunidad de llevar a cabo una indagación de manera autónoma.

No tiene demasiado sentido seguir proponiendo a los estudiantes un reto difícil como es el de realizar un trabajo investigativo al final de sus estudios de bachiller si previamente no han tenido la posibilidad de apropiarse de las bases procedimentales y de comprensión de la metodología científica y, muy especialmente, si se separa el aprendizaje de dichas bases del conocimiento científico que se pretende que sean capaces de construir. Por ello, posiblemente, no debería proponerse una investigación abierta y autónoma a los estudiantes hasta que tuvieran experiencia suficiente en los niveles inferiores de indagación (D'Costa *et al.*, 2013) y, al mismo tiempo, sin que la metodología de enseñanza de modelos teóricos parta de la aplicación de prácticas epistémicas auténticas (Grandy y Duschl, 2007).

Finalmente, valoramos que disponer de un instrumento de análisis de datos cualitativos, como son los trabajos de investigación realizados por los alumnos, pero que permite al mismo tiempo calificarlos cuantitativamente, puede ser de utilidad en los procesos de evaluación de estas actividades escolares. Un aspecto que no contempla el instrumento propuesto es la evaluación del contenido científico utilizado por el estudiante en su trabajo. En el futuro nos planteamos incorporar al NPTAI una categoría que aborde este procedimiento y explicita la importancia de reflexionar sobre qué información se necesita para abordar una investigación. El NPTAI permite una evaluación fiable y detallada y podría ser útil en el asesoramiento de estos trabajos por parte de los profesores, usándolo como instrumento de evaluación formativa, puesto que posibilita identificar las dificultades en los diversos procesos de la actividad de indagación y poner en evidencia dónde conviene realizar las correcciones o modificaciones o determinar qué actividades conviene planificar para mejorar la comprensión de algunos de estos procesos. Su aplicación repetida en el tiempo permite valorar los progresos del grupo y de cada uno de los alumnos en particular. Además, hace posible que los estudiantes reflexionen sobre cómo llevar a cabo el proceso de indagación que realizan analizando cómo la aplican ellos mismos o sus compañeros. En definitiva, es un instrumento que puede ayudar a los que aprenden a desarrollar su competencia indagativa a partir de tomar conciencia de lo que caracteriza a las distintas habilidades que la definen y en cuáles se centran sus principales dificultades.

Agradecimientos

Investigación realizada en el marco del grupo LIEC (Llenguatge i Ensenyament de les Ciències), grupo de investigación consolidado (referencia 2014SGR1492) por AGAUR (Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca) y financiada por el Ministerio de Educación y Ciencia (referencia EDU-2012-38022-C02-02).

Referencias bibliográficas

- Abd El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Niaz, M. y Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88(3), 397–419.
- Bell R., Maeng, J. y Peters, E. (2010). *VMSC Scientific Inquiry and NOS Task Force Report*. Virginia.
- Caamaño, A. (2012a). ¿Cómo introducir la indagación en el aula? *Alambique. Didáctica de Las Ciencias*, 70, 83–91.
- Caamaño, A. (2012b). La investigación escolar es la actividad que mejor integra el aprendizaje de los diferentes procedimientos científicos. En: Pedrinaci, E. (coord.), *11 Idea Clave. El desarrollo de la competencia científica*, 127–146. Barcelona: Graó.
- Cañal, P. (2007). La investigación escolar hoy. *Alambique*, 52, 9–19.
- Cañal, P. (2012). Saber ciencias no equivale a tener competencia profesional para enseñar ciencias. En: Pedrinaci, E. (coord.), *11 Idea Clave. El desarrollo de la competencia científica*, pp. 217–239). Barcelona: Graó.
- D’Costa, A. y Schlueter, M. (2013). Scaffolded Instruction Improves Student Understanding of the Scientific Method and Experimental Design. *The American Biology Teacher*, 75, 18–28.
- Decret de Batxillerat LOE. (2008). DOG, 5183, 59055–59062 59117–59119.
- Delors, J. (1996). *La educación encierra un tesoro*. Madrid: Santillana.
- Fay, E., Grove, N., Towns, M.H., y Bretz, S. L. (2007). A rubric to characterize inquiry in the undergraduate chemistry laboratory. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 212–219.
- Fernández-López, L. (2011). Los proyectos de investigación del alumnado y las competencias básicas y científicas. En M.P. Jiménez aleixandre (ed.) y L. Fernández-López (coord.), *Cuaderno de Indagación en el Aula y Competencia Científica*, pp. 17– 31. Madrid: Ministerio de Educación.
- Friedler, Y., y Tamir, P. (1990). *Basic Concepts in Scientific Research*. Jerusalem: Hebrew University
- Furman, M., Barreto Pérez, M. del C., y Sanmartí, N. (2013). El proceso de aprender a plantear preguntas investigables. *Educació Química*, 14, 1-16
- Grandy, R., y Duschl, R. A. (2007). Reconsidering the Character and Role of Inquiry in School Science: Analysis of a Conference. *Science & Education*, 16(2), 141–166.
- Grau, R. (1994). ¿Qué es lo que hace difícil una investigación? *Alambique*, 2, 27–35.
- Grunwald, S., y Hartman, A. (2010). A Case-Based Approach Improves Science Students' Experimental Variable Identification Skills. *Journal of College Science Teaching*, January-February 2010, 28-33.
- Herron M.D., (1971), The nature of scientific enquiry. *School Review*, 79, 171-212.
- Menoyo, M. (2013). *Anàlisi del procés de realització i tutorització dels treballs de recerca a secundària*. Tesis doctoral Universitat Autònoma de Barcelona
- OCDE. (2002). *Definition and Selection of Competencies (DeSeCo)*. Paris: OCDE

- Oliveras, B., Márquez, C., y Sanmartí, N. (2013). The Use of Newspaper Articles as a Tool to Develop Critical Thinking in Science Classes. *International Journal of Science Education*, 35(6), 885–905.
- Oliveras, B., Márquez, C., y Sanmartí, N. (2012). Aprender a leer críticamente. *Alambique*, 70, 37–45.
- Olson, S., y Loucks-Horsley, S. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. Washington DC.
- Sanmartí, N., y Oliveras, B. (2011). Leer críticamente las ideas y pruebas científicas que aportan artículos periodísticos. En M.P. Jiménez aleixandre (ed.) y L. Fernández-López (coord.), *Cuaderno de Indagación en el aula y Competencia Científica*, pp. 54–77. Madrid: Ministerio de Educación.
- Schwab, J. (1966). *The teaching of science*. Cambridge: Harvard University Press
- Tamir, P., y García, M. (1992). Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de texto de ciencias utilizados en Cataluña. *Enseñanza de Las Ciencias*, 10(1), 3–12.
- Tamir, P., Nussinovitz, R., y Friedler, Y. (1982). The development and use of a Practical Test Assessment Inventory. *Journal of Biological Education*, 16, 42–50.
- Windschitl, M., Thompson, J., y Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941–967.

Anexo: Temáticas de los trabajos de investigación de bachillerato evaluados

Bloques temáticos	Temas investigados	Nº 23
Biología de organismos y sistemas	<ul style="list-style-type: none"> • Aerobiología del instituto: hongos en el aire • Cecidios de los bosques del Parque Natural de la Zona Volcánica de La Garrotxa (PZVG) • Estudio de los líquenes en los alrededores del instituto y de factores que afectan su distribución • La reintroducción de <i>Capreolus capreolus</i> en el Parque de la Zona Volcánica de la Garrotxa 	4
Ciencias de la salud	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de las características de los partos de una clínica de Barcelona a partir de las anotaciones del libro de partos de una comadrona durante treinta años • Influencia de la edad materna y el tipo de parto eutócico o distócico en los resultados del test de Apgar de evaluación del recién nacido • Embarazos en adolescentes y en mujeres añosas: riesgos asociados • El sueño infantil y sus alteraciones: estudio en una guardería • La distrofia facio-escápulo-humeral: características y diseño de un test para evaluarla • Las cistitis: frecuencia, bacterias causantes y tratamientos habituales • Prevalencia de la osteoporosis: influencia de la edad, el sexo y el hábito fumador • La información que reciben los adolescentes sobre las drogas y su influencia en el consumo • El cáncer en nuestro entorno: estudio de árboles genealógicos y determinación de frecuencias 	9
Biotechnología y Análisis	<ul style="list-style-type: none"> • Efectividad de un fármaco desarrollado en el Instituto de Oncología del Valle de Hebrón para tratar el glioblastoma multiforme • Prevalencia de <i>Helicobacter pylori</i> en la población: detección de su presencia en las heces • Estudio de la calidad microbiológica de las lechugas utilizadas en ensaladas • Eficacia del tratamiento con altas presiones para reducir la presencia de microorganismos en alimentos envasados • Determinación del contenido de vitamina C en zumos envasados y naturales y su degradación por acción de factores ambientales 	5
Otros temas	<ul style="list-style-type: none"> • La mina de carbón de Ogassa: historia de su origen y su declive • Efectos del entrenamiento sobre la mejora de las condiciones físicas y los resultados de tests deportivos como las pruebas de acceso a CAFÉ (Grado de Ciencias de la Actividad Física) • El sentido del equilibrio de los niños y niñas de primaria: efectos del entrenamiento en su mejora • El maíz transgénico • Etología del perro: ¿innato o aprendido? 	5